

液化天然气的一般特性 GB/T 19204-2003

前 言

本标准等同采用 CEN BS EN 1160: 1997 “Installations and equipment for liquefied natural gas—General characteristics of liquefied natural gas”(液化天然气装置和设备 液化天然气的一般特性)。

为便于使用者查阅原文, 本标准的排版基本与原文相同, 未做变动。为保证标准的实施, 对易发生混淆的部分给予英文(原文)注解。

关于计量单位, 本标准以法定计量单位为主, 即法定计量单位值在前, 非法定计量单位的相应值标在其后的括号内。

本标准的附录 A、附录 B 为资料性附录。

本标准由中国海洋石油总公司提出。

本标准由全国天然气标准化技术委员会归口。

本标准起草单位: 中海石油研究中心开发设计院、中国石油西南油气田分公司天然气研究院、中国石油天然气集团公司华东勘察设计研究院、中国石化股份有限公司中原油田分公司。

本标准主要起草人: 付昱华、张邦楹、徐晓明、吴瑛、罗勤。

本标准由从事液化天然气装置和设备的 CEN / TC 282 技术委员会编制, 该委员会的秘书处由法国标准化组织协会管理。

本标准最迟于 1996 年 12 月, 应以同样的原文发表, 或是以签注认可的方式确定其具有国家标准的地位, 与其相冲突的国家标准同时应予以撤消。

根据 CEN / CENELEC 的内部规章, 下列国家的国家标准组织须执行本标准: 奥地利, 比利时, 丹麦, 芬兰, 法国, 德国, 希腊, 冰岛, 爱尔兰, 意大利, 卢森堡, 荷兰, 挪威, 葡萄牙, 西班牙, 瑞士, 瑞典, 英国。

1 范 围

本标准给出液化天然气(LNG)特性和 LNG 工业所用低温材料方面以及健康和安全方面的指导。

本标准也可作为执行 CEN / TC 282 技术委员会(液化天然气装置和设备)的其他标准时的参考文件。

本标准还可供设计和操作 LNG 设施的工作人员参考。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件, 其岁后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准, 然而, 鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件, 其最新版本适用于本标准。

EN 1473 液化天然气装置和设备, 陆上装置设计

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准

液化天然气 liquefied natural gas

一种在液态状况下的无色流体，主要由甲烷组成，组分可能含有少量乙烷，丙烷、氮或通常存在于天然气中的其他组分。

4 缩略语

本标准采用如下缩略语

——LNG liquefied natural gas, 液化天然气

——RPT rapid phase transition 快速相变

——BLEVE boiling liquid expanding vapour explosion 沸腾液体膨胀蒸发爆炸

——SEP surface emissive power, 表面辐射功率。

5 LNG 的一般特性

5.1 引言

所有与处理 LNG 有关的人员，不但应熟悉液态 LNG 的特性，而且应熟悉其产生气体的提醒。在处理 LNG 时潜在的危险主要来源于其 3 个重要性质。

a) LNG 的温度极低。其沸点在大压力约为 -160°C ，并与其组分有关，在这一温度条件下，其蒸发气密度高于周围空气的密度（见表 1 中的实例）

b) 极少量的 LNG 液体可以转变为很大体积的气体。1 个体积的 LNG 可以转变为约 600 个体积的气体（见表 1 中的实例）；

c) 类似于其他气态烃类化合物，天然气是易燃的。在大气环境下，与空气混合时，其体积约占 5%—15% 的情况下就是可燃的。

5.2 LNG 的性质

5.2.1 组成

LNG 是以甲烷为主要组分的烃类混合物，其中含有通常存在于天然气中少量的乙烷、丙烷、氮等其他组分。

甲烷及其他天然气组分的物理学和热力学性质可以在有关的参考书（参见附录 A）和热力学计算手册中查到。

本标准所涉及的 LNG，甲烷的含量应高于 75%，氮的含量应低于 5%。

虽然 LNG 的主要组分是甲烷，但是不能以纯粹的甲烷去推断 LNG 的理化性质。

分析 LNG 的组分时，应该特别注意的是要采取有代表性的样品，避免因蒸馏效应产生不真实的分析结果。

最常用的分析方法是分析一小股连续蒸发的生成物，分析中使用一种专门设计的装置以便能提供未经分馏的液体的具有代表性的气态样品。另一种方法是在产生主要生成物的蒸馏器出口处提取样品。该样品可用常规的气相色谱法分析，如 ISO 6568 或 ISO 6974 中所述的那些方法。

5.2.2 密度

LNG 的密度取决于其组分，通常在 430 kg/m^3 — 470 kg/m^3 之间，但是在某些情况下可高达 520 kg/m^3 。密度还是液体温度的函数，其变化梯度约为 $1.35\text{ kg/m}^3\cdot^{\circ}\text{C}$ 。密度可以直接测量，不过通常是用经过气相色谱法分析得到的组分通过计算求得。推荐使用 ISO 6578 中确定的计算方法。

注：该方法通常称为 Klosek McKinley 法。

5.2.3 温度

LNG 的沸腾温度取决于其组分，在大压力下通常在一 166°C 到一 157°C 之间。沸腾温度随蒸气压力的变化梯度约为 $1.25\times 10^{-4}\text{ }^{\circ}\text{C/Pa}$ 。

LNG 的温度通常用 ISO 8310 中确定的铜 / 铜镍热电偶或铂电阻温度计测量。

5. 2. 4 LNG 的实例

表 1 列示出 3 种 LNG 典型实例，并显示出随组分不同的性质变化。

常压下泡点时的性质	LNG 例 1	LNG 例 2	LNG 例 3
摩尔分数	-	-	-
N ₂	0.5	1.79	0.36
CH ₄	97.5	93.9	87.20
C ₂ H ₆	1.8	3.26	8.61
C ₃ H ₈	0.2	0.69	2.74
iC ₄ H ₁₀	-	0.12	0.42
nC ₄ H ₁₀	-	0.15	0.65
C ₅ H ₁₂	-	0.09	0.02
相对分子质量 (kg/koml)	16.41	17.07	18.52
泡点温度/°C	-162.6	-165.3	-161.3
密度/ (kg/m ³)	431.6	448.8	468.7
0°C 和 101 325Pa 条件下单位体积液体生成的气体体积 (m ³ .m ³)	590	590	568
0°C 和 101 325Pa 条件下单位体积液体生成的气体体积 (m ³ /10 ³)	1367	1314	1211

5. 3 LNG 的蒸发

5. 3. 1 蒸发气的物理性质

LNG 作为一种沸腾液体大量的储存于绝热储罐中。任何传导至储罐中的热量都会导致一些液体蒸发为气体，这种气体称为蒸发气。其组分与液体的组分有关。一般情况下，蒸发气包括 20% 的氮，80% 的甲烷和微量的乙烷。其含氮量是液体 LNG 中含氮量的 20 倍。当 LNG 蒸发时，氮和甲烷首先从液体中气化，剩余的液体中较高相对分子质量的烃类组分增大。

对于蒸发气体，不论是温度低于-113°C 的纯甲烷，还是温度低于-85°C 含 20% 氮的甲烷，它们都比周围的空气重。在标准条件下，这些蒸发气体的密度大约是空气密度的 0.6 倍。

5. 3. 2 闪蒸(flash)

如同任何一种液体，当 LNG 已有的压力降至其沸点压力以下时，例如经过阀门后，部分液体蒸发，而液体温度也将降到此时压力下的新沸点，此即为闪蒸。由于 LNG 为多组分的混合物，闪蒸气体的组分与剩余液体的组分不一样，其原因与上面 5. 3. 1 节中所述的原因类似。作为指导性数据，在压力为 $1 \times 10^5 \text{Pa} \sim 2 \times 10^5 \text{Pa}$ 时的沸腾温度条件下，压力每下降 $1 \times 10^3 \text{Pa}$ ， 1 m^3 的液体产生大约 0.4 kg 的气体。较精确地计算闪蒸如 LNG 类多组分液体所产生的气体和剩余液体的数量及组分都是复杂的。应用有效的热力学或装置模拟的软件包，结合适当的数据库，可以在计算机上进行闪蒸计算。

5. 4 LNG 的溢出(spillage of LNG)

5. 4. 1 LNG 溢出物的特征(characteristics of LNG spills)

当 LNG 倾倒在表面上时(例如事故溢出)，最初会猛烈沸腾，然后蒸发速率将迅速衰减至一个固定值，

该值取决于地面的热性质和周围空气供热情况。

如表 2 所示，如果溢出发生在热绝缘的表面，则这一速率将极大地降低。表中的数据是根据实验结果确定的。

材料	60s 后单位面积的速率 (kg/m ³ .h)
骨料	480
湿沙	240
干沙	195
水	190
标准混凝土	130
轻胶体混凝土	65

当溢出发生时，少量液体能产生大量气体，通常条件下 1 个体积的液体将产生 600 个体积的气体(见表 1)。

当溢出发生在水上时，水中的对流非常强烈，足以使所涉及范围内的蒸发速率保持不变。LNG 的溢出范围将不断扩展，直到气体的蒸发总量等于泄漏产生的液态气体总量。

5. 4. 2 气体云团的膨胀和扩散(expansion and dispersion of gas clouds)

最初，蒸发气体的温度几乎与 LNG 的温度一样，其密度比周围空气的密度大。这种气体首先沿地面上的一个层面流动，直到气体从大气中吸热升温后为止。当纯甲烷的温度上升到约-113℃，或 LNG 的温度上升到约-80℃(与组分有关)，其密度将比周围空气的密度小。然而，当气体与空气混合物的温度增加使得其密度比周围空气的密度小时，这种混合物将向上运动。溢出、蒸气云的膨胀和扩散是复杂的问题，通常用计算机模型来进行预测，只有在这方面有能力的机构才能进行这种预测。随着溢出，由于大气中的水蒸气的冷凝作用将产生“雾”云。当这种“雾”云可见时(在日间且没有自然界的雾)，此种可见“雾”云可用来显示蒸发气体的运动，并且给出气体与空气混合物可燃性范围的保守指示。在压力容器或管道发生溢出时，LNG 将以喷射流的方式洒到大气中，且同时发生节流(膨胀)和蒸发。这一过程与空气强烈混合同时发生。大部分 LNG 最初作为空气溶胶的形式被包容在气云之中。这种溶胶最终将与空气进一步混合而蒸发。

5. 5 着火和爆炸(ignition)

对于天然气/空气的云团，当天然气的体积浓度为 5%-15%时就可以被引燃和引爆。

5. 5. 1 池火(pool fires)

直径大于 10m 的着火 LNG 池，火焰的表面辐射功率(SEP)非常高，并且能够用测得的实际正向辐射通量 SEP 取决于火池的尺寸、烟的散发情况以及测量方法。SEP 随着烟尘炭黑的增加而降低。附录 A 包括的参考文献可用于确定给定情况的 SEP。

5. 5. 2 压力波的发展和后果(development and consequences of pressure waves)

没有约束的天然气云以低速燃烧时，在气体云团中产生小于 5×10³Pa 的低超压。在拥挤的或受限制的区域(如密集的设备 and 建筑物)，可以产生较高的压力

5. 6 包容(containment)

天然气在常温下不能通过加压液化，实际上，必须将温度降低到约-80℃以下才能在任意压力下液化。这意味着包容任何数量的 LNG，例如在两个阀门之间或无孔容器中，都有可能随着温度的提高使压力增加，直到导致包容系统遭到破坏。因此，成套装置和设备都应设计有适当尺寸的排放孔和泄压阀

5. 7 其他物理现象

5. 7. 1 翻滚(rollover)

翻滚是指大量气体在短时间内从 LNG 容器中释放的过程，除非采取预防措施或对容器进行特殊设计，

翻滚将使容器受到超压。

在储存 LNG 的容器中可能存在两个稳定的分层或单元，这是由于新注入的 LNG 与密度不同的底部 LNG 混合不充分造成的。在每个单元内部液体密度是均匀的，但是底部单元液体的密度不大于上部单元液体的密度。

随后，由于热量输入到容器中而产生单元间的传热、传质及液体表面的蒸发，单元之间的密度将达到均衡并且最终混为一体。这种自发的混合称之为翻滚，而且与经常出现的情况一样，如果底部单元液体的温度过高（相对于容器蒸汽空间的压力而言），翻滚将伴随着蒸汽逸出的增加，有时这种增加速度快且量大。在有些情况下，容器内部的压力增加到一定程度将引起泄压阀的开启。

早期曾假设，当上层密度大于下层密度时，就会发生翻转，由此产生翻转的名称，较近期的研究表明，情况并非如此，而是如前所述出现快速混合。

潜在翻滚事故出现之前，通常有一个时期其气化速率远低于正常情况。因此应密切检测汽化速率以保证液体不是在积蓄热量。如果对此有怀疑，则应设法使液体循环以促进混合。

通过良好的储存管理，翻滚可以防止，最好将不同来源的组分不同的 LNG 分罐储存。如果做不到，在注入储罐时应保证充分混合。

用于调峰的 LNG 中，高含氮在储罐子逐日停止后不久也可能引起翻滚。

经验表明，预防此类型翻滚的最好方法是保持 LNG 的含氮量低于 1%，并且密切监测气体速率。

5. 7. 2 快速相变(RPT)

当温度不同的两种液体在一定条件下接触时，可产生爆炸力。当 LNG 与水接触时，这种称为快速相变 (RPT) 的现象就会发生。尽管不发生燃烧，但是这种现象具有爆炸的所有其他特征。LNG 洒到水面上而引发的 RPT 是罕见的，而且影响也有限。

与实验结果相符的通用理论可简述如下。当两种温差很大的液体直接接触时，如果较热液体的热力学 (开氏) 温度大于较冷液体沸点的 1.1 倍时，后者温度将迅速上升，其表层温度可能超过自发核化温度 (当液体中产生气泡时)。在某些情况下，过热液体将通过复杂的链式反应机制在短时间内蒸发，而且以爆炸的速率产生蒸气。

例如，将 LNG 或液态氮置于水上的实验中，液体之间能够通过机械冲击产生密切接触并引发快速相变。

许多研究项目正在进行中，以便更好地理解 RPT，量化此现象的烈度以及确定正确的预防措施。

5. 7. 3 沸腾液体膨胀蒸气爆炸 (BLEVE)

任何液体处于或接近其沸腾温度，并且承受高于某一确定值的压力时，如果由于压力系统失效而突然获得释放，将以极高的速率蒸发。已经有记录如此猛烈的膨胀曾将整个破裂的容器抛出几百米。这种现象叫做沸腾液体膨胀蒸气爆炸 (BLEVE)。

沸腾液体膨胀蒸气爆炸在 LNG 装置上发生的可能性极小。这或者是由于储存 LNG 的容器将在低压下发生破坏 (参见附录 A 的 A. 5 部分)，而且蒸气产生的速率很低；或者是由于 LNG 是在绝热的压力容器和管道中储存和输送，这类容器和管道具有内在的防火保护能力。

6 建筑材料

6.1 LNG 工业中应用的材料

最常用的建筑材料暴露在极低温度条件下时，将因脆性断裂而失效。尤其是碳钢的抗断裂韧性在 LNG 温度下（-160℃）是很低。因此用于 LNG 接触的材料应当验证其抵抗脆性断裂性能。

6.1.1 直接接触 LNG 的材料 (materials in direct contact)

与 LNG 直接接触而不会变脆的主要材料及其一般应用列于表 3 中，该表尚不完全。不锈钢及主要低温合金的化学成分和性质列于附录 B 中

6.1.2 正常操作下不直接接触 LNG 的材料(materials not in direct contact under normal operation)

在正常操作于低温状态但不与 LNG 直接接触的主要材料列于表 4 中，该表尚不完全。

表 3 用于直接接触 LNG 的主要材料其一般应用

材料	一般应用
不锈钢	储罐、卸料臂，螺母与螺栓，管道和附件，换热器
镍合金，镍铁合金	储罐、螺母与螺栓
铝合金	储罐，换热器
铜和铜合金	密封件，垫片
混凝土（预应力）	泵套管
石棉，弹性材料	电绝缘
环氧树脂	泵套管
Epoxy (silerrite)	电绝缘
玻璃钢	泵套管
石墨	密封件，填料盒
氟乙烯丙烯（FEP）	电绝缘
聚四氟乙烯（PTFE）	密封件，填料盒，磨损面
聚三氟一氧乙烯（Kel F）	磨损面

斯太立特硬质合金	磨损面
a 石棉不宜用新装置中	
b 斯太立特硬质合金 (Stelite) :Co55%, Cr33%, W10%, C2%	

表 4 在正常操作下用于低温状态但不与 LNG 直接接触的主要材料

材料	一般应用
低合金不锈钢	滚珠轴泵
预应力钢筋混凝土	储罐
胶体混凝土	围堰
木材 (轻木、胶合板, 软木)	热绝缘
合成橡胶	涂料, 胶粘剂
玻璃棉	热绝缘
玻璃纤维	热绝缘
分层云母	热绝缘
聚率船乙烯	热绝缘
聚苯乙烯	热绝缘
聚胺脂	热绝缘
聚异氰尿酸脂 (polyisocyanurate)	热绝缘
砂	围堰
硅酸钙	热绝缘
硅酸玻璃	—
泡沫玻璃	热绝缘, 围堰
珍珠岩	热绝缘

6. 1. 3 其他

由于铜、黄铜和铝的熔点低且遇到溢出的 LNG 着火时将失效, 因此倾向于使用不锈钢或含镍 9% 的钢材。铝材常用于换热器。液化装置的管式、板式换热器使用冷箱 (钢制) 加以保护。铝材还可用于内罐的吊项。经过特别设计用于液态氧或液态氮的设备, 通常也适用于 LNG。

根据设计结果, 能够在 LNG 处于较高的压力和温度条件下正常操作的设备, 也应设计成能够承受降压情况下液体温度的下降。

6. 2 热应力 (thermal stresses)

用于 LNG 设施的大多数低温深冷装置将承受。从周围环境温度到 LNG 温度的快速冷却。在此冷却过程中产生的温度梯度将产生热应力, 该热应力是瞬态的、周期性的, 而且其值在与 LNG 直接接触的容器壁为最大。

这种应力随着材料厚度的增加而增加, 当其厚度超过约 10 mm 时, 应力值将很大。对于一些特殊的临界点, 临界或冲击应力可以应用公认的方法进行计算, 并用于脆性断裂的检验。

7 健康与安全

下面的推荐意见是为了给操作 LNG 设施的有关人员提供指导, 而不是为了取代国家法规的要求。

7. 1 置身于低温环境中 (exposure to cold)

LNG 造成的低温能对身体暴露的部分产生各种影响，如果对处于低温环境的人体未能适当地加以保护，则其反应和能力将受到不利的影响。

7. 1. 1 操作中的冷灼伤(handling, cold contact burns)

LNG 接触到皮肤时，可造成与烧伤类似的起疱灼伤。从 LNG 中漏出的气体也非常冷，并且能致灼伤。如暴露于这种寒冷气体中，即使时间很短，不足以影响面部和手部的皮肤，但是，象眼睛一类脆弱的组织仍会受到伤害。人体未受保护的部分不允许接触装有 LNG 而未经隔离的管道和容器，这种极冷的金属会粘住皮肉而且拉开时将会将其撕裂。

7. 1. 2 冻伤(frostbite)

严重或长时间地暴露在寒冷的蒸气和气体中能引起冻伤。局部疼痛经常给出冻伤的警示，但有时会觉得不到疼痛。

7. 1. 3 寒冷对肺部的影响(effect of cold on the lungs)

较长时间在极冷的环境中呼吸能损伤肺部。短时间暴露可引起呼吸不适。

7. 1. 4 体温过低(hypothermia)

10℃以下的低温都可以导致体温过低的伤害。对于明显地受到体温过低影响的人，应迅速地从寒冷地带移开并用热水洗浴使体温恢复，水温应在 40℃至 42℃之间。不应该用干热的方法提升体温。

7. 1. 5 推荐使用的防护服(recommended protective clothing)

当处理 LNG 时，如果预见到将暴露于 LNG 的环境之中，则应使用合适的面罩或安全护目镜以保护眼睛。

操作任何物品时，如其正在或已经与寒冷的液体或气体接触，则应一直戴上皮手套。应戴宽松的手套并在接触到溅落的液体时能够迅速脱去。即使戴上手套，也只应短时间握住设备。

防护服或者类似的服装应是紧身的，最好是没有口袋也没有卷起的部分。裤子也应穿在鞋或靴子的外面。

当防护服被寒冷的液体或蒸气附着后，穿用者在进入狭窄的空间或接近火源之前应对其做通风处理。

操作者应该明白，防护服只是在偶然出现 LNG 溅落时起保护作用，应避免与 LNG 接触。

7. 2 置身于天然气环境中(exposure to gas)

7. 2. 1 毒性(toxicity)

LNG 和天然气是无毒的。

7. 2. 2 窒息(asphyxia)

天然气是一种窒息剂。氧气通常占空气体积的 20.9%。大气中的氧气含量低于 18%时，会引起窒息。在空气中含高浓度天然气时由于缺氧会产生恶心和头晕。然而一旦从暴露环境中撤离，则症状会很快消失。在进入可能存在天然气的地方之前，应测量该处大气中氧气和烃类的含量。

注：即使氧气含量足够多，不会引起窒息，进入前也应进行可燃性检测，而且应使用专用于此目的仪器进行检测。

7. 3 火灾的预防和保护

在处理 LNG 失火时，推荐使用干粉(最好是碳酸钾)灭火器。与处理 LNG 有关的人员应经过对液体引发的火灾使用干粉灭火器的训练。高倍数泡沫材料或泡沫玻璃块可用于覆盖 LNG 池火并能极大地降低其辐射作用。必须保证水的供应以用于冷却目的，或在设备允许的情况下用于泡沫的产生。但是水不可用于灭此类火。

有关火灾的预防和保护的设计，应遵守 EN 1473 的规定。

7. 4 气味

LNG 蒸气是无气味的。

附录 A (资料性附录) 参考资料目录

A. 1 总论

(1) Safety tools for LNG risk evaluation: cloud dispersion and radiation, D. NEDELKA, B. WELSS, B. BAUER (Gaz de France), IGU H 12-91, Berlin (July 1991)

(2) Methodology of Gaz de France concerning matters of LNG terminals, D. NEDELKA, A. COY (Gaz de France), Paper 1, Section III, LNG 10, Kuala Lumpur (May 1992)

(3) Grundlagen sicherheitstechnischer Erfordernisse im Umgang mit Flüssigerdgas (LNG), K. A. HOPFER, gwf Gas Erdgas 130 (1989), S27-32

A. 2 LNG 着火

(1) Calculation of radiation effects, D. NEDELEKA (Gaz de France), EUROGAS Trondheim (MAY 1990)

(2) The MONTOIR 35m diameter LNG POOL FIRE experiments, D. NEDELKA, J. MOORHOUSE, R. F. TUCKER, (Gaz de France, BRITISH Gas, shell RESERACI), Paper 3, Session III, LNG9. Nice (Nov 1989)

(3) Fire safety assessment for LNG storage facilities, B. J. LOWESMITH, J. MOORHOUSE, P. ROBERT, Paper 2, Session III, Intern. Conference on LNG (LNG10), Kuala Lumpur 1992.

(4) Prediction of the heat radiation and safety distance of large fires, with the model OSRAMO, A. SCHONBUCHER et al., 7th Int. Symp. On Loss Prevention and Safety Promotion in the process industries, 68-1/68-16, Proceedings, Taormina (1992)

(5) Das experimentell validierte

Ballen-Strahlungsmodell OSRAMO, Teil 1: Theoretische Grundlagen, A. SCHONBUCHER et al., Tu 33 (1992), 137/140

(6) Das experimentell validierte

Ballen-Strahlungsmodell OSRAMO, Teil 2: Sicherheitsaspekte, A. SCHONBUCHER et al., Tu 33 (1992), 219/223

(7) LNG fire: A thermal radiation model for LNG fires, Topical report, June 29, 1990, Gas Research Institute, 8600 West Bryn Mawr Avenue, Chicago, Illinois 60631

(8) Thermal radiation from LNG trench fires Volume III, final report, September 1982-September 1984, Gas Research Institute, 8600 West Bryn Mawr Avenue, Chicago, Illinois 60631

(9) Methods of the calculation of the physical effects of the escape of dangerous

material, Chapter 6--Heat radiation, G. W. HOFTIJER, TNO Organization for Industrial Research--Division of Technology for Society, P. O. Box 342, 7300 AH Apeldoorn, Netherlands

(10) Large scale LNG and LPG pool fires in the assessment of major hazards, G. A. MIZNER and J. A. EYRE, Institution of Chemical Engineers Symposium, Series No. 71 (1982)

A. 3 快速相变

(1) Contribution to the study of the behaviour of LNG spilled onto the sea, A. SALVADORI, J. C. LEDIRAISON, D. NI[~]DELKA, (Gaz de France), Session III, LNG 7, Djakarta (May 1983) Rapid phase transitions of cryogenic liquids boiling on water surface, J. D. SAINSON, C. BARADEL,

(2) M. ROULEAU, J. LEBLOND (Gaz de France, ESPCI, ENS), Paper 9, Session II, Eurotherm Louvain (May 1990)

(3) Propagation of vapor explosion in a stratified geometry. Experiments with liquid nitrogen and water, J. D. SAINSON, M. GABILLARD, T. WILLIAMS (Gaz de France, Gas Research Institute), CSNI--Fuel Coolant Interaction--Santa Barbara (Jan. 1993)

A. 4 翻滚

(1) LNG stratification and rollover, J. A. SARSTEN, Pipeline and Gas Journal, Vol. 199, p. 37 (Sep 1972)

(2) Tests on LNG behaviour in large scale tank at Fos sur-Mer terminal, F. BELLUS, Y. REV-EILLARD, C. BONNAYRE, L. CHEVALIER (Gaz de France), Paper 9 Session III, LNG 5 (MAY 1997)

(3) Management of LNG storage tanks. Stratification mixing and ageing of LNG, O. MARCEL, A. GIRARD-LAOT, PLANGRY (Gaz de France), Paper 4, Session III, LNG 10, Kuala Lumpur (MAY 1992)

(4) LNG tank filling: Operational procedures to prevent stratification, M. BAUDINO (SNAM), Paper H5, 10th. Gas Conference, Munich (1987)

A. 5 沸腾液体膨胀蒸气爆炸

(1) LNG and explosions of BLEVE TYPE, L. MONEGRO FORMIGUERA (Catalana de Gas y Electricidad), Gas Conference, Munich (1985)

A. 6 LNG 手册

(1) Encyclopedie de gaz-L' Air Liquids-Elsevier (1976)

(2) LNG material and fluids: A users manual of property data in graphic format, National Bureau of Standards, Boulder, COLORADO, USA, Dougals Man (1997)

A. 7 LNG 溢出

(1) Boiling and spreading spreading rates of instantaneous spill of liquid methane on water D. J. CHATLOS, R. C. REID, Gas Research Institute 81/0045 (April 1982)

(2) Verein Dutscher Ingenieure, Arbeitsblatt, VDI 3783. Blatt 1: Ausbreitung von stoffbedingten Freisetzungen, Sicherheitsanalyse.

(3) Verein Deutscher Ingenieure, Arbeitsblatt VDI 3 783. Blatt 2. Ausbreitung von stoffbedingten Freisetzungen schwerer Gase, Sicherheitsanalyse

A. 8 标准

EN 485-2 铝和铝合金 片、带和板材 第 2 部分: 材料特性

EN 515 铝和铝合金 制成品 热处理标示

EN 573-3 铝和铝合金 化学成分和制成品样式 第 3 部分: 化学成分

EN 10028-4 用于压力装置的钢制扁平产品 第 4 部分: 具有指定低温性能的镍合金钢

EN 1045—1 金属材料 夏比冲击试验 第1部分：试验方法
 EN 1088—1 不锈钢 第1部分：不锈钢明细表
 EN 1088—2 不锈钢 第2部分：一般用途片、带和板材的交货技术条件
 EN 1088—3 不锈钢 第3部分：一般用途半成品，条、杆和薄片的交货技术条件
 EN 26501 镍铁合金 交货条件和规格书(ISO 6501：1988)
 EN 754—2 铝和铝合金 冷拉条 / 杆和管材 第2部分：机械性能
 EN 755—2 铝和铝合金 挤压条 / 杆，管材和型面 第2部分：机械性能
 EN 10222—6 用于压力装置的钢锻件 第6部分：奥氏体，马氏体和铁—奥氏体不锈钢
 ISO 6208 镍和镍合金板材、片和带材
 ISO 6568 天然气 气相色谱法简易分析
 ISO 6578 冷却的碳氢液体 静态测量 计算方法
 ISO 6974 天然气中氢气，惰性气体和直 C8 烃的确定 气相色谱法
 ISO 8310 冷却的轻烃液体 含液化气体容器中的温度测量 电阻温度计和热电偶
 ISO 9722 镍和镍合金 成分和制成品样式
 ISO 9723 镍和镍合金棒材

附录 B (资料性附录)可用于同 LNG 接触的材料

本附录给出主要的可与 LNG 接触的材料等级。

给出化学成分或力学性能的参考文献(欧洲或国际标准(或草案))列于表 B. 1—表 B. 6。

表 B. 1 给出一 196℃时的冲击能量 KV 值(J)。

表 B. 1 不锈钢片 / 板和带材在低温下的冲击能量

钢等级标示		冲击能量 KV. (-196℃)/J	
名称	数值	长期	瞬间
X2CrnI8-9	1.4307	-	≥70
X2CeNiMo17-2-2	1.4404	90	70
X2CeNiMo17-2-3	1.4432	90	70
X2CeNiMo18-14-3	1.4435	90	70
X5CrNi18-10	1.4301	90	70
X6CrNiTi18-10	1.4541	90	70
X6CrNiMoNb17-2-2	1.4580	90	70
X5CrNiMo17-12-2	1.4401	90	70
X3CrNiMo17-13-3	1.4436	90	70
X2CrNiMo18-15-4	1.4438	90	70
X2CrNiN18-10	1.4311	90	70
X2CrNiMoN17-13-3	1.4429	90	70
X2CrNiMoN18-12-4	1.4434	90	70
X2CrNiMoN17-13-5	1.4439	90	70
X2CrNiMoN25-20-5	1.45.9	90	70

注：化学成分 EN10088-1。力学性能见 EN 10088-2

a -196℃时的冲击能量值是根据法国标准，因为用于压力装置的欧洲不锈钢标准尚不能应用。

表 B.2 用于环境和低温条件的不锈钢螺母和螺栓

钢等级标示
X5CrNi18-10
X4CrNi18-12
X5CrNiMo17-12-2
X3CrNiMo17-13-3
注：力学性能见 EN 10088-2

表 B.3 用于环境和低温条件的不锈钢棒材

钢等级标示	
名称	数值
X2CrNi18-9	1.4307
X2CrNiMo17-2-2	1.4404
X2CrNiMo17-2-3	1.4432
X2CrNiMo18-14-3	1.4435
X5CrNi18-10	1.4301
X6CrNi18-10	1.4541
X6CrNiMoNb17-12-2	1.4580
X5CrNiMo17-12-2	1.4401
X3CrNiMo17-13-3	1.4436
X2CrNiMo18-15-4	1.4438
X8CrNiS18-9	1.4305
X2CrNi18-10	1.4311
X2CrNiMoN17-13-3	1.4429
X2CrNiMoN17-13-5	1.449
X1NiCrMoCu25-20-5	1.4539
注：力学性能见 EN10088-3. 化学成分见 EN10088-1.	

表 B.4 用于环境和低温条件的不锈钢锻件

钢铁等级标示	
名称	数值
X2CrNi18-9	1.4307
X2CrNiMo17-12-2	1.4404
X2CrNiMo17-12-3	1.4432

X5CrNi18-10	1. 4301
X6CrNiTi18-10	1. 4541
X4CrNiMo17-12-2	1. 4401
X2CrNi18-10	1. 4311
X6CrNiNb18-10	1. 4550
注：力学性能见 10222-6。化学成分见 EN1088-1	

表 B. 5 钢铁和镍合金

标示范	化学成分参考标准	力学性能参考标准
FeNi40LC	EN 26501	EN26501
X8Ni9 (1. 5662)	EN10028-4	EN10028-4
FeNi32Cr21AlTi	ISO 9722	ISO 6208 ISO 9723
FeNi32Cr21AlHC	ISO 9722	ISO 6208 ISO 9723
NiCr15Fe6W4	ISO 9722	ISO 6208 ISO 9723
NiMo16Cr15Fe6W4	ISO 9722	ISO 6208 ISO 9723
NiMo28	ISO 9722	ISO 6208 ISO 9723

表 B. 6 铝合金

合金标准		化学成分参考标准	力学性能参考标准
标号	化学符号		
EN AW-5083	EN AW-AlMg4, 5Mo0, 7	EN573-3	EN 485-2 EN 754-2 EN 755-2
EN AW-5086	EN AW -AlMg4	EN573-3	EN 485-2 EN 754-2 EN 755-2